

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko – geologická fakulta

Institut ekonomiky a systémů řízení

**EFEKTIVITA VYUŽITÍ
TECHNOLOGIE VODNÍHO PAPRSKU PŘI
TĚŽBĚ UHLÍ**

diplomová práce

Autor:

Bc. Iva Kolenová

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Petr Jandačka, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Iva Kolenová**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102T003 Komerční inženýrství v oblasti surovin
Téma: Efektivita využití technologie vodního paprsku při těžbě uhlí
Effectivity of water jet technology for a coal mining

Zásady pro vypracování:

Cílem DP je efektivita využití technologie vodního paprsku při těžbě uhlí. (Pozn.: bylo by vhodné vytvořit software – např. v Excelu – vztahující se k tématu práce). Práci strukturujte do následujících kapitol:

1. Současný stav využití vodního paprsku – účinnost
2. Současný stav technologie těžby uhlí – problémy
3. Ekonomické zhodnocení nahrazení klasického způsobu těžby uhlí kapalinovým paprskem
4. Závěr a doporučení pro navazující práci

Rozsah práce: 30 – 35 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) P. JANDAČKA a kol. REGRESIVNÍ MODEL PRO HLOUBKU ZÁŘEZU VODNÍHO PAPRSKU DO HORNIN, Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series, No. 1.2009, vol. L.V, article No. 1656
- 2) P. JANDAČKA et al.: MEASUREMENT OF SPECIFIC FRACTURE ENERGY AND SURFACE TENSION OF BRITTLE MATERIALS IN POWDER FORM. International Journal of Fracture 159, p. 103 (2009)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Petr Jandačka, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013
Datum odevzdání: 30.04.2014


doc. Dr. Ing. Oldřich Kodým
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Autorské prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3). Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencovaná pod CreativeCommonsAttribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/> - Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě

02. 04. 2014



Iva Kolenová

Poděkování

Touto formou bych ráda poděkovala Mgr. Petru Jandačkovi, Ph.D. za dobře míněné rady a cenné připomínky při psaní mé diplomové práce. Rovněž chci poděkovat své rodině, především babičce Evě, sestře Lence, Květoslavovi a blízkým přátelům za podporu, pomoc a trpělivost při mém studiu.

Anotace

Tato diplomová práce popisuje kapalinový paprsek nejen jako nástroj pro obrábění či řezání, ale také jako efektivní nástroj při těžbě uhlí.

V první části je seznámení s kapalinovým paprskem jakožto řezným nástrojem, jeho popis, funkce a vlastnosti. Další část se věnuje použití kapalinového paprsku jako nástroje pro dobývání uhlí, který je nazýván hydromonitor. V dalších kapitolách se věnujeme dobývacím kombajnům a těžené surovině uhlí.

Hlavní náplní této práce je porovnání klasického dobývacího kombajnu a hydromonitoru, analýza celkové hodnoty vytěženého uhlí v jednotce tuna/hodina a porovnání, který z uvedených nástrojů je při těžbě černého uhlí efektivnější a ekonomicky výhodnější.

Klíčová slova: kapalinový paprsek, hydromonitor, uhlí, dobývací kombajn, porovnání, výtěžnost

Abstract

This thesis describes a liquid jet not only as a tool for machining or cutting, but also as an effective tool in coal mining.

The first part is the introduction of the fluid jet as a cutting tool, a description, function and properties. The next section is devoted to the use of liquid jet as a tool for mining coal, which is called Hydromonitors. In the following chapters we deal with mining combines a raw material coal mined.

The main concern of this work is the comparison of classical mining shearers and Hydromonitors, analysis of the total value of the coal in the unit ton / hour, compared to which of these tools is the extraction of coal efficiently and economically.

Keywords: liquid jet, Hydromonitors, coal miners, comparisons yield

Seznam zkratek

% – procento

μm – mikrometr

A – povrchová plocha jedné granule

atd – a tak dále

C – cena

cm^2 – centimetry čtvereční

ϱ – hustota

E – energie

GBR – typ podnikání

h – hodina

k_1 – konstanta tření

k_2 – energetická účinnost

K_3 – koeficient pro efektivní plochy

Kč – koruna

kN – kilo newton

KP – kapalinový paprsek

kp – kilopond

K_q – sdružený kontakt

kW – kilowatt

m – metr

min – minuta

mm – milimetr

MPa – megapascal

Mt – milion tuna

N – náklady

η – účinnost

°C – stupeň celsia

P – tlak

Pa – pascal

Q – objemový průtok

Ra – drsnost

s – sekunda

t – tuna

tzv – takzvaně

V – výtěžnost

WEC – World Energy Council

λ – povrchová energie

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Současný stav využití vodního paprsku	3
2.1	Kapalinový paprsek	3
2.2	Historie.....	3
2.3	Princip činnosti kapalinového paprsku	4
2.4	Parametry kapalinového paprsku	5
2.5	Druhy kapalinových paprsků	6
2.5.1	Čistý kapalinový paprsek.....	7
2.5.2	Abrazivní kapalinový paprsek	7
2.5.3	Další druhy paprsků.....	8
2.6	Kapalinový paprsek a přeměna energie	9
2.7	Výhody kapalinového paprsku	10
3	Hydrodynamické vymílání (hydromonitoring)	11
3.1	Části hydromonitoru	11
3.2	Rozdělení hydromonitoru dle stupně využití vody	12
3.2.1	Hydraulické dobývání s mechanickou dopravou na povrch.....	12
3.2.2	Mechanické dobývání s hydraulickou dopravou na povrch	13
3.3	Komplexní hydromechanizace	13
3.4	Způsoby dobývání hydrodynamickým vymíláním.....	14
3.5	Hydrodynamické dobývání vrty z povrchu.....	15
4	Uhlí	17
4.1	Uhlí	17
4.2	Složení uhlí.....	17
4.3	Vznik uhlí.....	18
4.4	Typy uhlí	19
4.5	Ložiska uhlí v ČR	19
4.6	Světové zásoby uhlí	21
4.7	Světoví producenti uhlí	21

4.8	Celková produkce uhlí	21
5	Dobývací kombajn	23
5.1	Hlavní části kombajnu a jejich činnost	23
5.2	Parametry dobývacích kombajnů	24
5.3	Rozdělení dobývací kombajnů	25
5.4	Výběr typů používaných dobývacích kombajnů	25
5.5	Dobývací kombajn EICKHOFF SL 300	26
5.6	Základní parametry EICKHOFF SL 300	27
5.7	Výhody dobývacího kombajnu SL 300	28
5.8	Dobývací kombajn EICKHOFF SL 500	28
6	Ekonomické zhodnocení nahrazení klasického způsobu těžby kapalinovým paprskem (hydrodobývání).....	30
6.1	Jednoduchý fyzikálně-ekonomický model rozrušování uhelné hmoty kapalinovým paprskem	30
6.2	Hydrodobývání šikmých slojí	34
6.3	Elektrická energie	34
6.4	Elektrická energie a jejich dodavatelé	35
	Závěr	40
	Použitá literatura	41
	Internetové www zdroje	43
	Seznam obrázků	46
	Seznam grafů	47
	Seznam tabulek	48

1 Úvod

V dnešní době můžeme sledovat určitou nejistotu týkající se budoucnosti těžby černého uhlí jak v České republice, tak v Moravskoslezském kraji. Například ostravský důl Paskov vykazuje ztrátové hospodaření, neboť náklady na těžbu uhlí v tomto dole jsou vyšší než zisk z jeho následného prodeje. Takové pasivní hospodaření nás nutí k zamyšlení, jak ekonomicky zefektivnit těžbu tohoto fosilního paliva. Předmětem této diplomové práce je ekonomická analýza efektivnosti podpovrchové těžby černého uhlí, přičemž výsledky lze zobecnit i na povrchovou těžbu a jiné druhy uhlí.

Současná podpovrchová těžba černého uhlí je realizována pomocí mechanických kombajnů. Ty pracují tak, že odebírají horninu ze slojí pomocí rotace elektricky poháněného rotoru. Je velice těžké odhadovat skutečnou účinnost takových strojů na základě poměru mechanický výkon / elektrický příkon, protože tato účinnost závisí na těžko měřitelných parametrech rozpojovaného materiálu, tedy černého uhlí. Alternativním dobývacím strojem by mohl být kapalinový paprsek, proud vody schopný rozpojit uhelnou sloj, který je v současné době předmětem intenzivního vědeckého výzkumu a má mnoho aplikací, např. při obrábění hornin, řezání betonu nebo při otryskávání povrchu materiálů při jeho sanaci. O použití tohoto zařízení při těžbě uhlí je velmi těžké najít v literatuře nějaké informace. Naskytá se tedy otázka, zda by tento nástroj nemohl poskytovat ekonomicky výhodnější způsob těžby uhlí.

Cílem této práce je posoudit ekonomickou náročnost těžby uhlí při používání klasického důlního dobývacího stroje a kapalinového paprsku (hydromonitoru) a srovnat ekonomickou efektivitu jejich provozu vyjádřenou jednotkou Kč/tunu vytěženého materiálu.

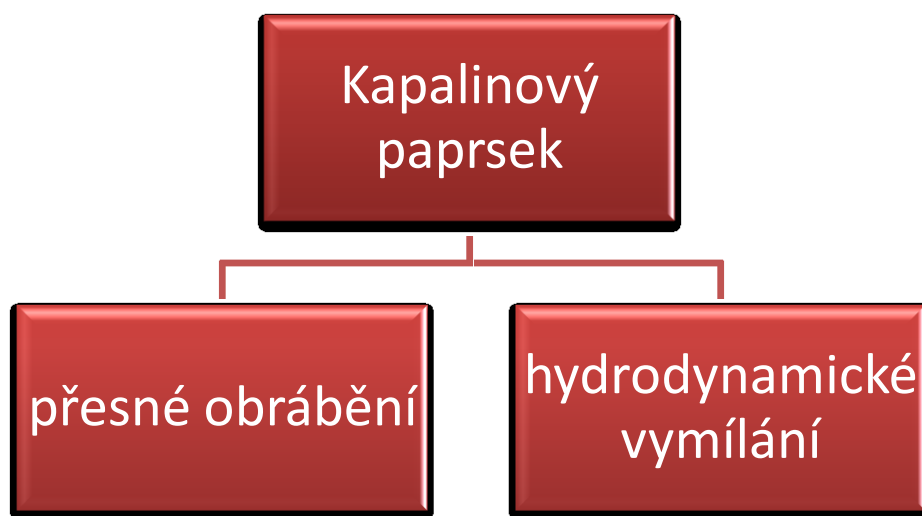
Metoda práce je teoretická a provedené výpočty jsou založeny na parametrech dobývacích kombajnů prezentovaných výrobcí těchto strojů a na pokusech provedených s hydromonitory popsanych v zahraniční literatuře. Původním záměrem bylo provést výpočet efektivity provozu hydromonitoru jen teoreticky na základě poznatků z hydrodynamiky a výsledky prezentovat formou výstupu z programu Microsoft Excel. Během vypracovávání práce se ukázalo, že je to sice možné, ale výsledky vycházející z tohoto postupu by byly značně nespolehlivé. Proto nezbylo, než se spolehnout na výsledky experimentů prováděných s hydromonitory v zahraničí. Prezentované výsledky takových experimentů byly základem pro výpočty ekonomické náročnosti provozu hydromonitorů v rámci této diplomové práce.

Na počátku práce nemáme žádnou **hypotézu** o tom, který z uvedených strojů je efektivnější, ale protože se v dolech kapalinový paprsek (hydromonitor) obecně nepoužívá, lze odhadovat, že efektivita jeho provozu bude vykazovat horší ekonomické parametry než klasický způsob těžby.

2 Současný stav využití vodního paprsku

2.1 Kapalinový paprsek

Kapalinový paprsek se začal využívat k dobývání a těžbě nerostných surovin. Jeho hlavní výhodou je schopnost odstranění velkých objemů nejrůznějších materiálů a jejich řezání.



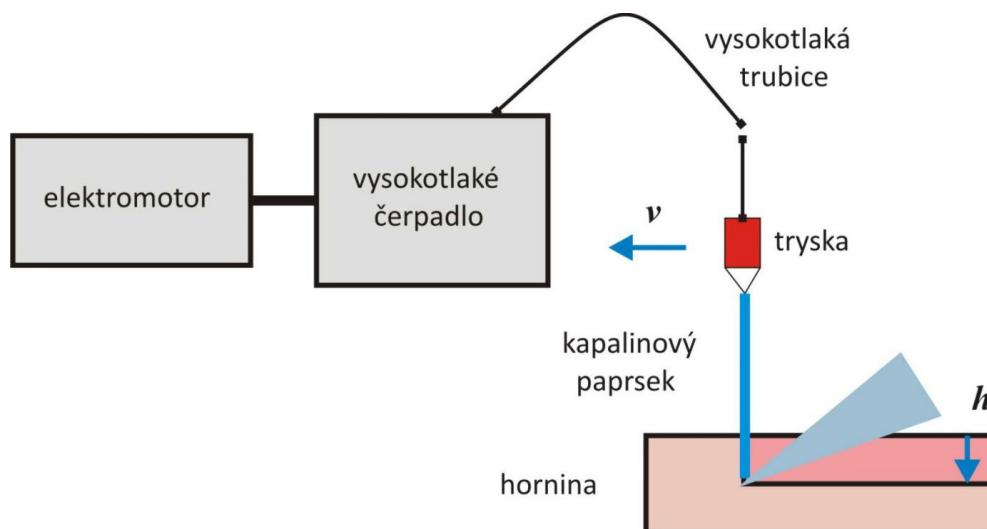
Graf 1. Rozdělení KP podle použití

2.2 Historie

Historie vodního paprsku sahá do poloviny dvacátého století, ale plně se začal využívat až v osmdesátých letech, kdy se do vodního paprsku začala přidávat abraziva. Poprvé byl kapalinový paprsek použit okolo roku 1870 při odstranění nánosů kamení a písku ze zlata. Ve dvacátých letech devatenáctého století se začal kapalinový paprsek používat ve stavebnictví k odstranění nánosů kamení a písku, v roce 1936 byl prvně využit k řezání děl uhelných slojí a v dalších letech se využíval k těžbě uranu.

Prvním člověkem, který začal studovat kapalinový paprsek jako řezný nástroj, byl Dr. Norman Franz, který se snažil o zvýšení tlaku v trysce paprsku. V osmdesátých letech došlo k posunu vývoje vodního paprsku z důvodu přidávání abraziva. Díky tomuto abrazivu se mohly řezat i více pevné materiály. V současné době se kapalinový paprsek používá převážně v soustružení a frézování, dále také v drážkování, úkosování a otryskávání. [17]

2.3 Princip činnosti kapalinového paprsku



Obrázek 1. Popis funkce kapalinového paprsku, [1]

Vysoká rychlost kapalinového paprsku se pohybuje od 300 m/s při 70 MPa až do cca 1000 m/s při tlaku okolo 400 MPa. To umožňuje řezat materiál vysokými řeznými rychlostmi, přičemž malá šířka řezu okolo 0,3 mm zaručuje minimální ztrátu materiálu.

Prvním úspěchem byla konstrukce zařízení, které generovalo 95 l vody/min při tlaku okolo 100 MPa. Toto zařízení vytvářelo tenký kapalinový paprsek o průměru 0,2 mm, který umožnil vytékání kapaliny ve vysoké rychlosti. Tato rychlost byla ideální pro řezání nejrozumnějších materiálů. [1]

2.4 Parametry kapalinového paprsku



Obrázek 2. Kapalinový paprsek, [1]

Tabulka 1. Parametry řezného nástroje, [1]

VELIČINA	KAPALINOVÝ PAPERSEK
TLAK	700 MPa
VÝKON	25 – 40 kW
RYCHLOST ZAŘÍZENÍ	600 – 900 s ⁻¹
PRŮMĚR ŘEZNÉHO NÁSTROJE	0,1 – 1,5 mm
ENERGETICKÁ ÚČINNOST	85 %
DRSNOST	2,5 – 12 μm

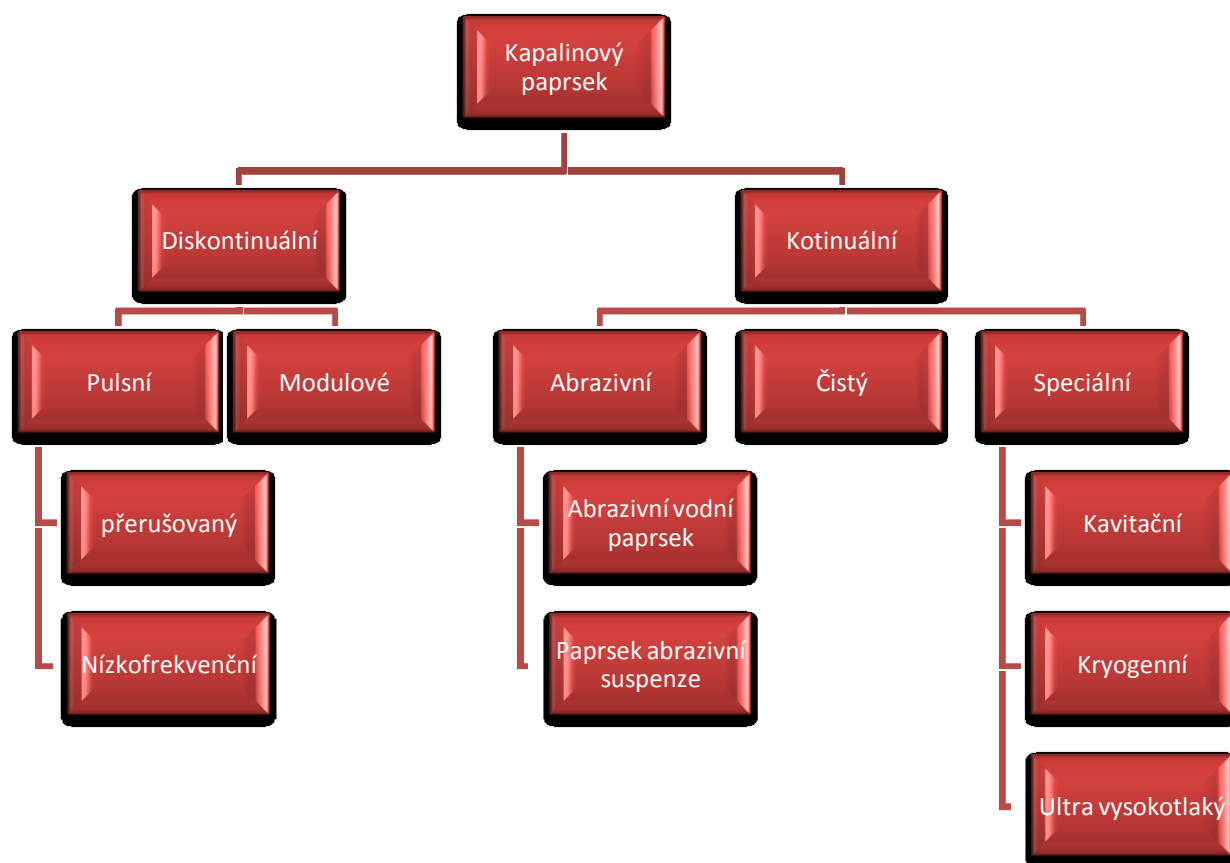
- Tlak p [MPa] – vyjadřuje poměr síly F , působící kolmo na rovinnou plochu a rovnoměrně spojitě rozloženou po této ploše a obsahu této plochy S .
- Výkon P [kW] – výkon vyjadřuje množství práce vykonané za jednotku času.
- Rychlost média v [m] – rychlost pohybu řezného média.
- Průměr řezného nástroje \varnothing [mm] – průměr řezného média, proudu, nebo také průměr vyřezané drážky (řezu).
- Energetická účinnost η [%] – podíl výkonu (zdánlivého) a příkonu stroje.
- Drsnost Ra [μm] – kvantitativní vyjádření nerovnosti povrchu. [1]

2.5 Druhy kapalinových paprsků

Kapalinový paprsek používáme ve dvou variantách.

První variantou je použití čistého kapalinového paprsku, do kterého se nepřidávají žádné částčky abraziva. Tuto variantu používáme především pro měkké a málo houževnaté materiály.

Druhou variantou je kapalinový paprsek s přidavkem mikročástic zvaných abraziva, který se používá při práci s houževnatými a tvrdými materiály. Tento kapalinový paprsek nazýváme abrazivní. [18]



Graf 2. Druhy KP [18]

2.5.1 Čistý kapalinový paprsek

Čistý kapalinový paprsek byl používán nejdříve ze všech druhů kapalinových paprsků. Hlavním úkolem je zvolit vhodnou kapalinu vodního paprsku, která musí splňovat určitá kritéria. Hlavními kritérii kapaliny jsou:

- nízká cena,
- snadná dostupnost,
- minimální agresivita,
- schopnost zabezpečení produktivity,
- nízká viskozita.

Nejlepší kapalinou, která se používá při řezání kapalinovým paprskem, je voda. Voda je díky svým vlastnostem nejlepší volbou pro řezání nejrůznějších materiálů. [18]



Obrázek 3. Řezání KP bez abraziva, [1]

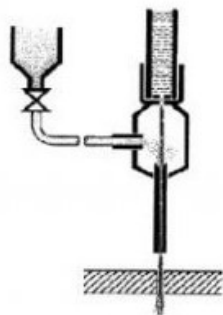
2.5.2 Abrazivní kapalinový paprsek

Abrazivní kapalinový paprsek je tzv. čistý kapalinový paprsek s přídavkem abraziva (např. minerální písek, křemičitý písek, granát atd.)

Abraziva se přidávají z důvodu zpracovávání stále pevnějšího, tvrdšího a houževnatějšího materiálu. Abrazivní kapalinový paprsek je stokrát až tisíckrát silnější než čistý kapalinový paprsek.

Typy abrazivních paprsků jsou:

- systém s přímým vstřikováním brusiva,
- systém s přímým přívodem brusiva. [1]



(obr.1) Řezání s abrazivem

Obrázek 4. Řezání KP s abrazivem, [1]

2.5.3 Další druhy paprsků

Jsou druhy kapalinových paprsků, které jsou specializované na konkrétní situace či práci se specifickým materiálem.

Druhy těchto paprsků jsou:

- ultra-vysokotlaké,
- kryogenní,
- kavitační,
- modulované,
- pulzní. [18]

Ultra-vysokotlaké paprsky jsou charakteristické hlavně vysokým výkonem. Vytvářejí až dvojnásobné tlaky oproti základním vodním paprskům, čímž snižují čas tření a zvyšují kvalitu řezného nástroje. Tato technologie má velice nákladnou pořizovací cenu, ale celkově sníží náklady procesu řezání. Obecně platí, že čím vyšší má paprsek energii, tím vyšší je následně kvalita řezání i vlastní řezané plochy.

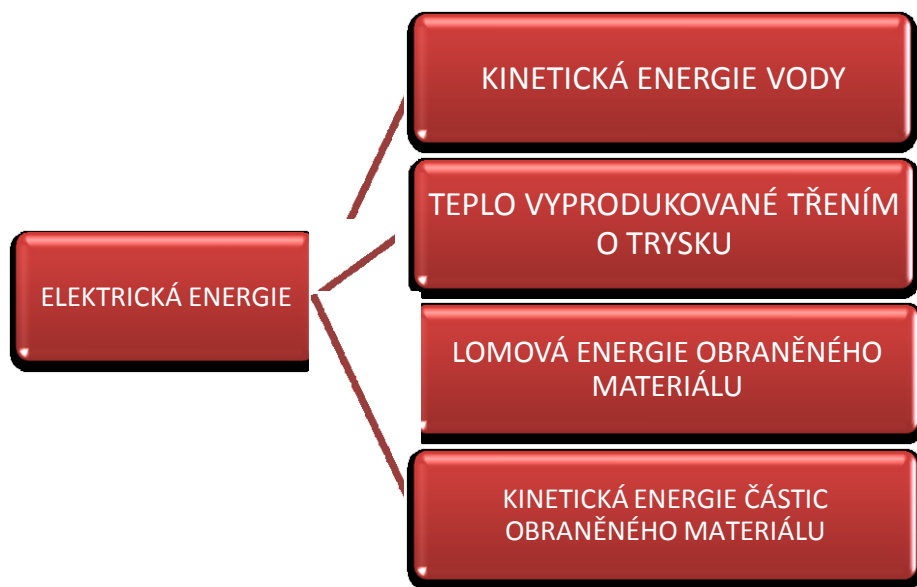
Kryogenní paprsek má stejnou funkčnost jako čistý kapalinový paprsek, liší se pouze v použitém druhu pracovní kapaliny. Místo vody se v této metodě využívá tekutý dusík LN₂. Hlavní výhodou použití tekutého dusíku je, že jej lze použít v případech, kdy nemůžeme použít běžnou pracovní kapalinu, tedy vodu. Tuto metodu používáme hlavně v kontaminovaných prostředích. Celá metoda kryogenního paprsku musí být přizpůsobena tak, aby dusík měl stále tekutou podobu, proto musíme stále udržovat teplotu okolo -190 °C.

Kavitační paprsek používá se především pro řezný proces, který nazýváme kavitace. Celý proces spočívá ve snížení tlaku, který působí na dutiny v kapalině. Následně dochází k implozím. Dutiny se nejprve zaplní vakuem a poté okolními plyny. Snížení tlaku není stálé, proto vzniklé dutiny zkolabují a rázové vlny působí ničivými účinky na materiál.

Modulované paprsky fungují na principu měnící se energie po dobu řezání. Tato energie vytváří tlak, který působí v místě řezání, což má za následek značnou únavu materiálu.

Pulzní paprsky fungují na stejném principu jako předchozí modulované paprsky. [18]

2.6 Kapalinový paprsek a přeměna energie



Graf 3. Schéma přeměny energie, [1]

Na tomto schématu můžeme vidět, jak se elektrická energie při řezání kapalinovým paprskem přeměňuje v jiné formy energie.

- Elektrická energie – je dána součinitelem času a příkonu.
 - Kinetická energie vody – po nárazu paprsku do řezaného materiálu si kapalina (voda) ponechá své kinetické energie.
 - Teplo vyprodukované třením o trysku – vysoká rychlost a nenulová viskozita vody způsobují v oblasti trysky energetické ztráty.
 - Lomová energie obráběného materiálu – lomová energie se rovná práci, kterou je třeba vykonat pro rozrušení materiálu.
 - Kinetická energie částic obráběného materiálu – při nárazu vody do řezaného materiálu jsou mikročástice materiálu unášeny kapalinou. Částice materiálu mají kinetickou energii.
- [1]

2.7 Výhody kapalinového paprsku

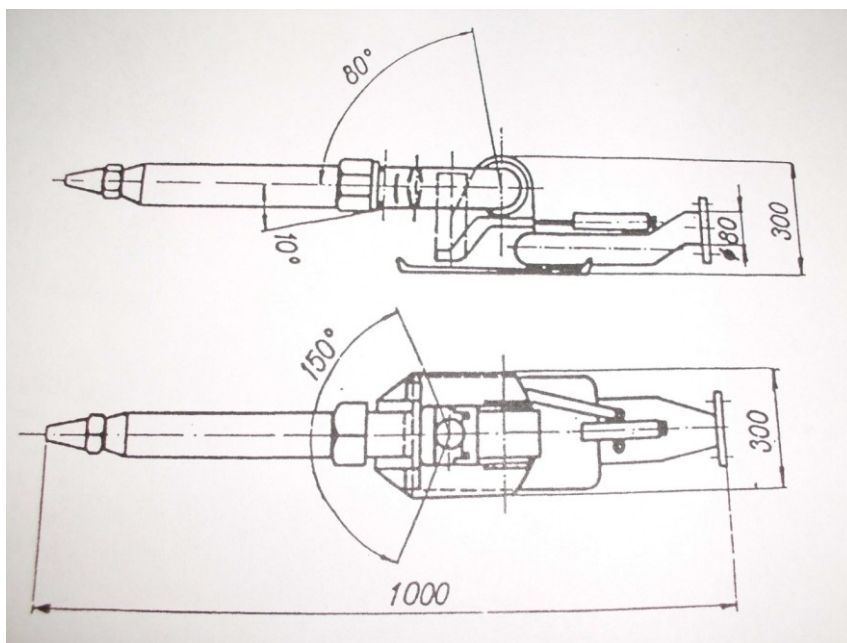
Řezání kapalinovým paprskem má hned několik výhod. Současným celosvětovým trendem je ochrana životního prostředí. Mezi hlavní výhody kapalinového paprsku je, že při použití nevznikají žádné toxické plyny, prach, páry či zplodiny. Při řezání má kapalinový paprsek minimální odpad materiálu, což je také velkou výhodou. Další výhody jsou vysoká flexibilita druhů a tvarů řezaného materiálu, minimální náklady na řezný nástroj, řezání v různých prostředích, snadné seřízení stroje, vysoká přesnost řezu, vysoká energetická účinnost, bez tepelného namáhání a mikrotrhlin. [18]

3 Hydrodynamické vymílání (hydromonitoring)

Hydromonitoring je jeden ze způsobů dobývání, při kterém se k rozpojování a dopravě uhlí používá energie vodního proudu. Tato technologie se skládá z několika operací. Mezi tyto operace patří především rozpojování, nakládání a doprava v porubu.

3.1 Části hydromonitoru

- Tryskač
- Kalové a bagrovací čerpadlo s potrubím
- Čerpadlo pro tlakovou vodu s vysokotlakým potrubím
- Další pomocná strojní zařízení [12]



Obrázek 5. Hydromonitor DH- 30 [12]

3.2 Rozdělení hydromonitoru dle stupně využití vody

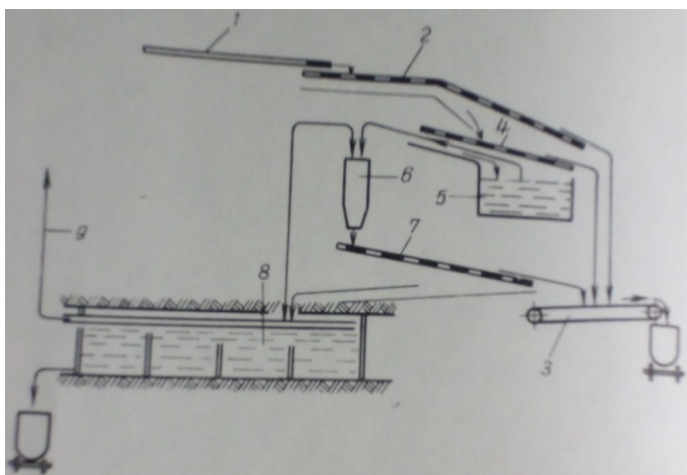
- Hydraulické rozpojování uhlí s ražením chodeb v porubech, při kterém je na povrch uhlí přepravováno mechanickou dopravou. U tohoto dobývání musíme zřizovat odvodňovací stanice,
- mechanické rozpojování s hydraulickou dopravou uhlí na povrch,
- hydraulické rozpojování s hydraulickou dopravou uhlí na povrch.

3.2.1 Hydraulické dobývání s mechanickou dopravou na povrch

Hydromonitor je spojen s vysokotlakým vodním potrubím přímo nebo prostřednictvím vysokotlaké vodní hadice.

Proud vody o tlaku $40 - 70 \text{ kp/cm}^2$ je vrhán proti uhelnému pilíři rychlostí přibližně $80 - 120 \text{ m/s}$. Proud působí na uhelný pilíř přímou silou nebo nepřímým dynamickým rozrušováním uhlí podle vrstevních ploch a stříhů. Vodním proudem se nejprve vyuhlí zásek u počvy nebo v nejvhodnější vrstvě sloje, kde se postupně dobývají další části sloje. Nejvhodnější vzdálenost mezi tryskou a uhelným pilířem je okolo $3 - 6 \text{ m}$. Rozpojované uhlí se splavuje po počvě nebo po pevných žlabech do odvodňovací stanice či jímky.

Tlak vody je vytvářen vysokotlakými čerpadly nebo hydrostaticky. Tryska je upevněna na hlavní tryskáče, který je uložen na kolejovém či saňovém podvozku. Tryskáč se posunuje ručně, lanem vrátku nebo hydraulicky a musí být zajištěn proti posunutí. Obsluha stroje musí být v bezpečném prostoru, protože je ohrožena odraženou vodou s uhlím. Teplota vody nesmí mít méně jak 10°C a musí být zdravotně nezávadná. [12]



Obrázek 6. Odvodňovací stanice [12]

Popis odvodňovací stanice

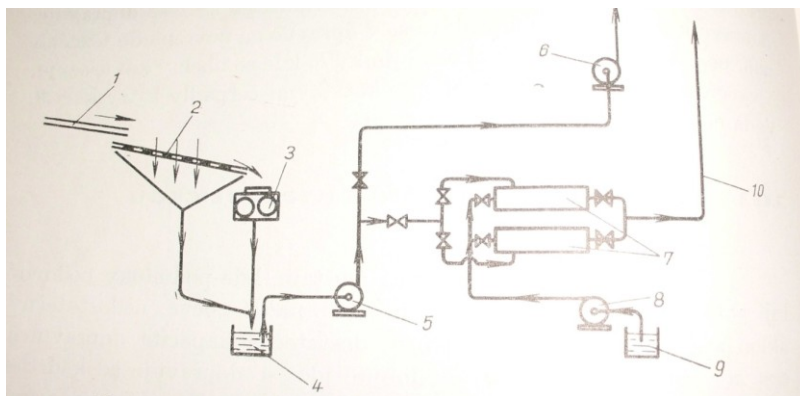
Z porubu se v pevných žlabech splavuje uhlí (1) na pevný rošt (2), na kterém se uhlí odvodní a oddělují se zrna dle velikosti, např. nad 70 mm. Nadroštná zrna se dopravují pomocí dopravníku (3) do důlních vozů. Podroštná zrna stékají na šterbinové síto vibrátoru (4), na němž se odvodní zrno určité velikosti. Nadsítná zrna se dopravují nadroštným dopravníkem (3) do vozů. Podsitná zrna stékají do jímky, odkud se pomocí kalového čerpadla přečerpávají do hydrocyklónů (6), kde se zahušťuje uhelný kal. Zrna uhlí klesají dolů a vyčerpaná voda s jemným kalem z horní části hydrocyklónu se odvádí do odkalovací jímky (8). Kal ze spodní části hydrocyklónu se odvádí na jemné vibrační síto (7), kde se odvodní a roztřídí zrnka uhlí. Nadsítná zrna se pomocí dopravníku (3) dopravují do vozů, kde se přidávají k vytěženému uhlí. Podsitná zrna stékají do odkalovací jímky (8), kde se kal usazuje, a vyčeřená voda se zpět čerpá vysokotlakými čerpadly k tryskači (9).

3.2.2 Mechanické dobývání s hydraulickou dopravou na povrch

Vydobyté uhlí se dopraví k tzv. drtící stanici, kde se drtí a smísí s vodou. Na povrch se dopraví bagrovacími čerpadly. Tento způsob dobývání se používá zřídka, většinou na místech, kde je málo dopravních cest, v jámě nebo v místech, kde nelze použít hydraulické dobývání. [12]

3.3 Komplexní hydromechanizace

Kapalinový paprsek vydobude směs uhlí s vodou, jež se přivádí z porubu ve žlabech, které jsou položeny v těžní chodbě k odvodňovací jímce na rošt. Uhlí větších rozměrů se dále drtí v kladivovém drtiči, poté se opět smíchá dohromady s prosetým uhlím ve sběrné jímce, kde se dále čerpá bagrovacími čerpadly na povrch. U větších hloubek se směs uhlí s vodou vyčerpá již zmíněnými bagrovacími čerpadly do dávkovače. Poté se směs vytlačuje čistou vodou z vodní jímky pomocí vysokotlakého čerpadla, kde se za pomoci potrubí dostává na povrch. [12]



Obrázek 7. Schéma komplexní hydromechanizace [12]

pevné žlaby (1), třídící rošt (2), drtič (3), úseková sběrná jímka (4), čerpadlo (5), čerpadlo (6), dávkovač (7), vysokotlaké čerpadlo (8), vodní jímka (9), výtlačné potrubí na povrch do úpravny (10)

3.4 Způsoby dobývání hydrodynamickým vymíláním

Pilířování – známe dva způsoby provedení této metody, a to směrnou a úpadní. Tryskače jsou uloženy v chodbách, kde proudem vody dobýváme polovinu šířky pilíře. Hlavní výhodou tohoto dobývání je dobývání bez výztuže a přítomnosti pracovníků. Nevýhodou je velká roztržitost pracovišť a náročná příprava.

Stěnování – také se dělí na směrné a úpadní, tyto metody jsou vhodné pro nízké i středně mocné sloje. Tryskač se pohybuje podél uhelného pilíře a dobývá široký pokos s úpadním nebo dovrchním záběrem. Uhlí dobýváme ve dvou směnech, třetí směna vytáhne tryskač vrátkem do horního výklenku, kde se vrátek přemístí, plení se výztuž a stavějí žebra.

Výhody jsou:

- větší výkonnost,
- vysoká produktivita práce,
- nižší výrobní a investiční náklady,
- jednoduchá doprava uhlí vodou v porubech, jámě, chodbách,
- dobývání slojí o mocnosti pod 45 cm,
- minimální prašnost,
- nízké riziko výbuchu důlního ovzduší.

Nevýhody jsou:

- pracovníci pracují ve vlhkém prostředí, což přispívá ke vzniku kožních nemocí,
- určené především pro měkčí sloje, které nejsou náchylné k bobtnání a rozmáčení,
- obtížná úprava uhlí,
- 100% vlhkost na pracovišti,
- značná poruchovost čerpadel a dalších zařízení. [12]

3.5 Hydrodynamické dobývání vrty z povrchu

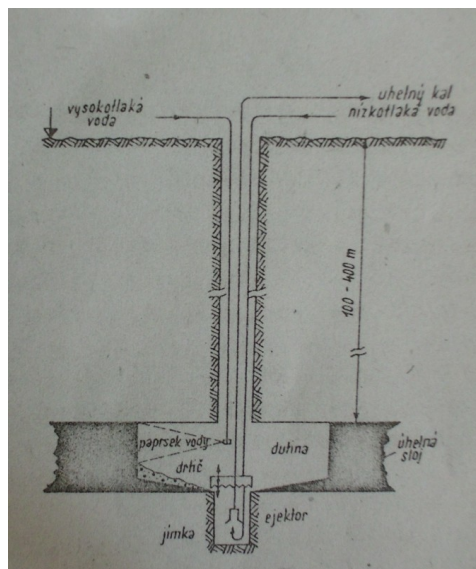
Jedná se o další způsob hydrodynamického vymílání, který byl odzkoušen. Principem tohoto dobývání je vrt, který je veden z povrchu tak, aby procházel vodorovnou či strmě uloženou slojí. Do vrtu se umístí speciální zařízení, které je vybaveno vysokotlakou tryskou. Kapalinový paprsek vymílá uhlí a následně jej smývá zpět do vrtu. Uhlí a voda se vynášejí na povrch pomocí čerpadla. Větší částice uhlí, které nelze dopravit čerpadly na povrch, se rozdrtí v drtiči. Uhlí vymíláme dvěma možnými způsoby, a to pomocí kontinuálního paprsku (10 – 30 MPa) nebo pulsujícího paprsku o vysokém tlaku (okolo 1400 MPa).

Doprava uhlí a uhelného kalu k čerpadlu závisí na několika faktorech:

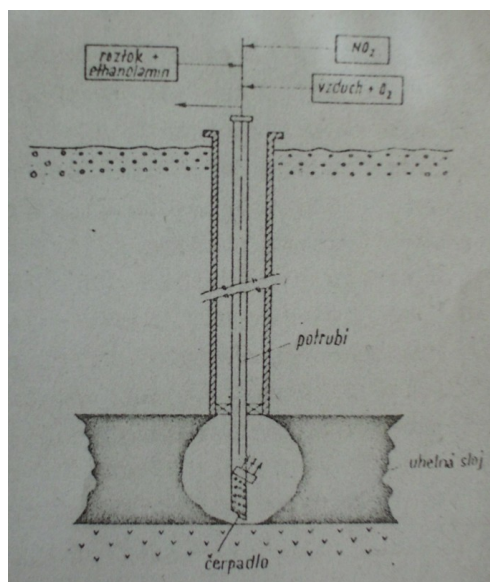
- hmotnosti uhlí,
- tvaru částic uhlí,
- křivce zrnitosti uhlí,
- na poloměru dutiny,
- rychlosti vody a uhelného kalu,
- tření. [12]

Pro tento způsob dobývání jsou vhodnější mocnější sloje. Při vymílání uhlí záleží na řezacích schopnostech kapalinového paprsku, stabilitě nadloží a podloží, stabilitě uhelného pilíře a dopravě uhlí od čelby k jímce.

Vstupní vrty jsou vedeny v uhlí a dutina, která má tvar válce, je dobývána v určitých odstupech. Dobýváme seshora dolů, vzniklé komory se nevyztužují. Rozměry komor a jejich celkové uspořádání závisí na geotechnických parametrech dobývaného ložiska. Vydobyté komory mohou být využity na uskladnění elektrárenských popílků a průmyslových odpadů. [12]



Obrázek 8. Umístění kapalinového paprsku do vrtu [11]



Obrázek 9. Doprava uhlí na povrch [11]

4 Uhlí

4.1 Uhlí

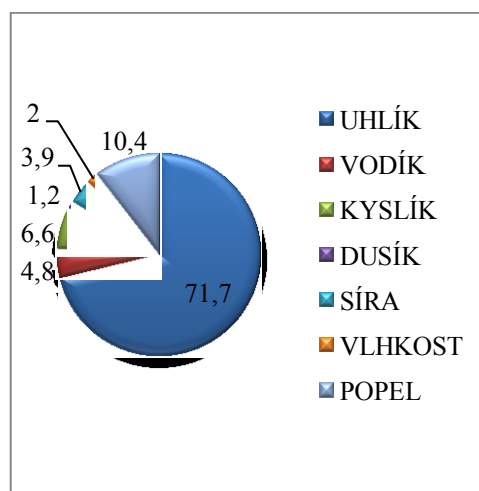
Uhlí je fosilní palivo, které vzniklo z pozůstatků pravěkých vegetací, které byly nahromaděny v bažinách a rašeliništích.

4.2 Složení uhlí

Uhlí se skládá z uhlíku, vody, sloučenin síry a silikátových a jílových hornin.



Obrázek 10. Uhlí



Graf 4. Složení obsahu uhlí

- Uhlík – 71,1 %
- Vodík – 4,8 %
- Kyslík – 6,6 %
- Dusík – 1,2 %
- Síra – 3,9 %
- Vlhkost – 2 %
- Popel – 10,4 % [25]

4.3 Vznik uhlí

Uhlí vznikalo v geologickém období prvohor a druhohor. Období prvohor bylo nejlepší pro vznik černého uhlí, zato hnědé uhlí vznikalo až v období druhohor.

Uhlí vzniklo z rostlinných zbytků, které přeměnily své chemické složení a strukturu. Vlivem prostředí, kde došlo ke zvýšení teploty a tlaku, se bez přístupu kyslíku začal zvyšovat poměr uhlíku. Takto vznikla rašelina, ze které vlivem jílu a písku vzniklo hnědé uhlí. Z hnědé uhlí vlivem vysokého tlaku, vysokých teplot a tektonických změn vznikl antracit a poté černé uhlí. [15]

Vznik uhlí



Graf 5. Popis vzniku uhlí [22]

4.4 Typy uhlí

Tabulka 2. Typy uhlí [27]

	VÝHŘEVNOST [MJ/kg]	% UHLÍKU
Černé uhlí	18 – 30 MJ/kg	80 – 90 %
Hnědé uhlí	15 – 20 MJ/kg	50 – 80 %
Antracit	26 – 30 MJ/kg	90 < %
Lignit	13 MJ/kg	30 – 50 %

- Černé uhlí má černou lesklou barvu, značnou tvrdost a výhřevnost. Skládá se z uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíky a dalších prvků.
- Hnědé uhlí má hnědou barvu. Je to hořlavá sedimentární hornina, která je vytvořena z rašeliny. Má nízký obsah tepla a používá se výhradně pro výrobu energické páry.
- Antracit má černou barvu a lesklý povrch. Je to nejkvalitnější a nejvýhřevnější druh uhlí, který hoří bez kouře. Tento druh uhlí se v přírodě vyskytuje nejméně.
- Lignit je první produkt prouhelnění a je prostředníkem mezi rašelinou a uhlím. Většinou je lignit považován za hnědé uhlí.

Kvalita uhelného ložiska je určena:

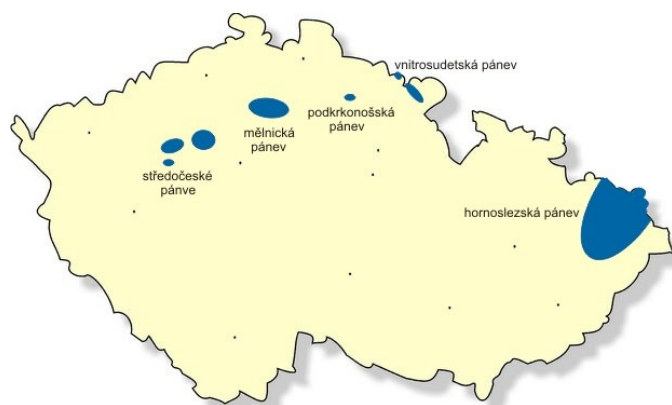
- různými typy vegetace,
- hloubkou odumřelých rostlin,
- teplotami a tlaky v těchto hloubkách,
- dobou tvoření ložiska.

Proces zuhelnatění záleží na chemických a fyzikálních vlastnostech uhlí – hodnotí, která je určena stupněm původního rostlinného materiálu a jeho přeměnou na uhlík. (doufám, že jsem větu správně pochopila) [27]

4.5 Ložiska uhlí v ČR

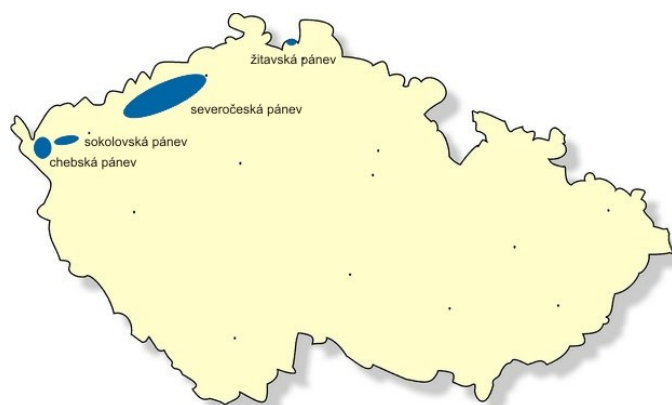
Ložiska jednotlivých druhů uhlí jsou znázorněna na obrázcích 11, 12 a 13.

Černé uhlí se těží především v hornoslezské pánvi, střečské pánvi, mělnické pánvi, podkrkonošské pánvi a vnitrosudetské pánvi.



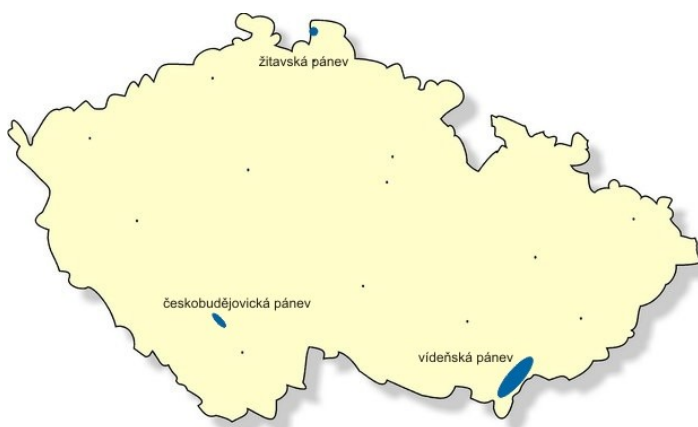
Obrázek 11. Oblasti těžby černého uhlí [29]

Hnědé uhlí se těží v severočeské pánvi, sokolské pánvi, chebské pánvi, a žitavské pánvi.



Obrázek 12. Oblasti těžby hnědého uhlí [29]

Lignit se těží ve vídeňské pánvi, českobudějovické pánvi a žitavské pánvi.



Obrázek 13. Oblasti těžby lignitu [29]

Tabulka 3. Ložiska uhlí [45]

	LOŽISKO	BILANČNÍ PROZKOUMANÉ ZÁSoby	BILANČNÍ VYHLEDÁVANÉ ZÁSoby	NEBILANČNÍ ZÁSoby
ČERNÉ UHLÍ	62	1,5 mld. tun	5,9 mld. tun	8,7 mld. tun
HNĚDÉ UHLÍ	54	2,6 mld. tun	2,2 mld. tun	4,3 mld. tun
LIGNIT	9	204,2 mld. tun	615,3 mld. tun	156,2 mld. tun

4.6 Světové zásoby uhlí

Existují dvě mezinárodně uznávané metody posuzování zásob světového uhlí.

První metoda pochází z německého Spolkového ústavu pro Geosciences přírodních zdrojů (BGR) a je používána jako hlavní zdroj informací o uhelných zásobách. Podle BGR je 1 038 bilion tun zásob uhlí, což odpovídá světové produkci uhlí na 132 let.

Druhá metoda je produkováána World Energy Council (WEC) a je používán pro průzkum světové energie. Zásoby uhlí podle WEC jsou 861 miliard tun, což odpovídá světové produkci na 109 let.

Celkové světové zásoby černého uhlí jsou odhadovány na více jak 500 mld. tun. [31]

4.7 Světoví producenti uhlí

Uhlí zabírá 30 % základních světových energetických potřeb, vytváří 41 % světové elektřiny a používá se ze 70 % při výrobě oceli. [31]

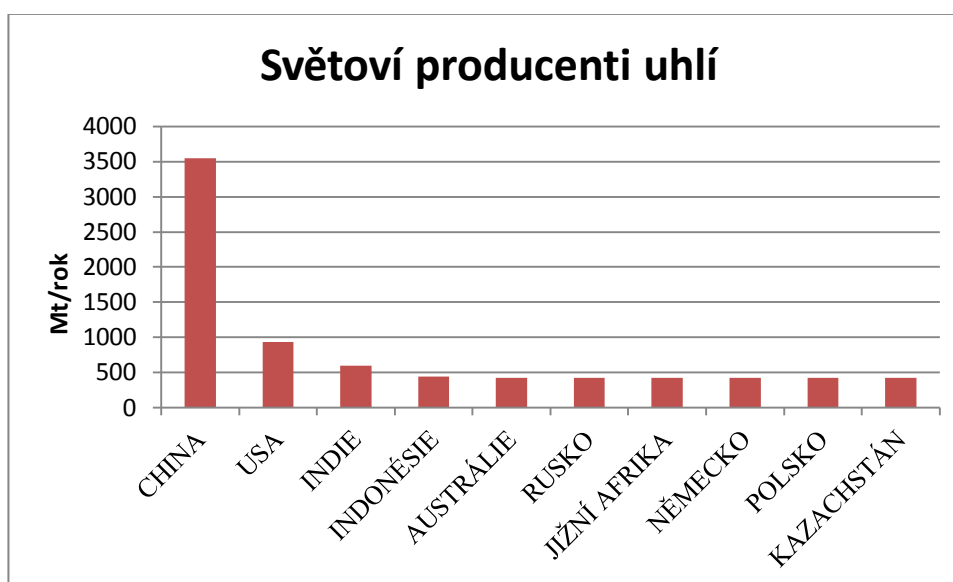
4.8 Celková produkce uhlí

V roce 2012 dosáhla světová produkce rekordní úrovně 7 837 Mt, což je oproti roku 2011 zvýšení o 2,9 %.

- Rok 2012 – 7 831 Mt
- Rok 2011 – 7 608 Mt
- Rok 1990 – 4 677 Mt

Mezi deset hlavních producentů uhlí v roce 2012 patřily státy:

- 1) Čína (3 549 Mt)
- 2) USA (935 Mt)
- 3) Indie (595 Mt)
- 4) Indonésie (443 Mt)
- 5) Austrálie (421 Mt)
- 6) Rusko (359 Mt)
- 7) Jižní Afrika (259 Mt)
- 8) Německo (197 Mt)
- 9) Polsko (144 Mt)
- 10) Kazachstán (126 Mt) [32]



Graf 6. Světoví producenti uhlí

5 Dobývací kombajn

Hlavní funkce dobývacího kombajnu spočívá v rozpojování uhelného pilíře a nakládání rozpojovaného uhlí. Kombajny byly vyvinuty z brázdících strojů, ke kterým byla přidána nahrnovací radlice a výkyvné rameno. U rozpojovacího orgánu byla upravena brázdící tyč či řetěz. [34]

5.1 Hlavní části kombajnu a jejich činnost



Obrázek 14. Kombajn [35]

Části kombajnu jsou motor, rozpojovací orgán, řezná část, nakládací a vrátková část

- **MOTOR** – v současné době se využívají trojfázové asynchronní motory s kotvou nakrátko, které jsou chlazeny vodou nebo vzduchem. Při chlazení motoru vodou slouží kapalina nejen k chlazení motoru, ale také k chlazení rozpojovaného uhlí. Motor musí mít několik bezpečnostních prvků, jako je např. zajištění proti náhodnému spuštění motoru, zatavení motoru ze dvou míst atd.
- **ROZPOJOVACÍ ORGÁN** – u válcových kombajnů se požaduje co největší účinnost, což usnadní nakládání.
- **ŘEZNÁ ČÁST** – je tvořena převodovou skříní, která se nachází mezi rozpojovacím orgánem a motorem. Konstrukce zařízení musí být řešena tak, aby bylo možné mechanicky odpojit rozpojovací ústrojí od pohonu a zabránit tak samovolnému zapojení.
- **NAKLÁDACÍ ČÁST** – slouží k nakládání uhlí na porubový dopravník.

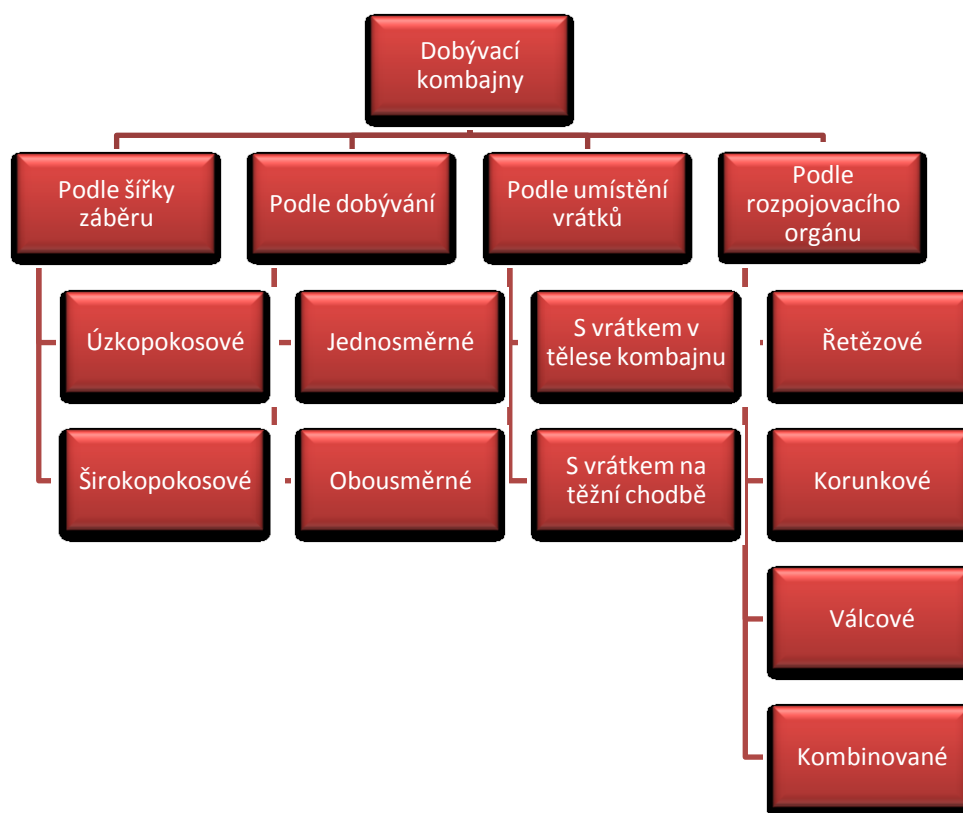
- **VRÁTKOVÁ ČÁST** – slouží pro odvození postupové rychlosti kombajnu nezávislé na stupni přetížení postupové části dobývacího kombajnu. [34]

5.2 Parametry dobývacích kombajnů

Tabulka 4. Parametry dobývacích kombajnů [34]

Kombajn	Krajní polohy výškového nastavení rozpojovacího ústrojí		Pracovní výška tělesa kombajnu od počvy max. mm	Celkový příkon motorů kW	Největší krátkodobý tah Mp	Rychlost posuvu	
	mm Dolní	mm Horní				m/hod. pracovního	m/hod. vratného
S	500	800	400	75	12	0 - 300 min	600 max
nuceným	630	1000	500	75	12		
vynášením	800	1250	620	100	15		
úklon	1000	1600	750	120	15		
sloje	1250	2000	900	120	18		
do 35°	1600	2500	1100	160	18		
	2000	3000	1500	160	18		
Se	400	800	350	30	12		
samo-	630	1250	530	55	15		
spádovým	1000	2000	900	75	18		
vynášením	1600	3200	1400	100	18		

5.3 Rozdělení dobývací kombajnů



Graf 7. Rozdělení dobývacích kombajnů [34]

5.4 Výběr typů používaných dobývacích kombajnů

- **Gorňák** – používá se pro plošně uložené sloje s mocností od 0,65 do 0,9 m se středně tvrdým uhlím a pevným nadložím. Hlavní části stroje jsou motor, vrátková část brázdiče a lopatky s rozrušovacími noži. Pracovním orgánem tohoto stroje je ramenové rameno. Nakladač nakládá a drtí uhelné bloky, které projdou ramenem. Rameno má kromě nakládacích hřebel ještě speciální nože.
- **Šacht'or** – používá se pro plošně uložené sloje s mocností od 0,5 do 0,7 m s měkkým uhlím a pevným nadložím. Na brázdiči je namontovaná řetězová řezací část, v zadní části ramena je řetěz s vynášecími lopatkami pro nakládání uhlí, které se pak nahrnuje na dopravník.
- **KKP 2** – používá se pro strmé sloje. Mezi hlavní části stroje patří otáčející se korunky s vytrhávacími noži, které se posouvají po hřebenu a střešávají uhlí z pilíře.
- **KSV 33** – používá se ve slojích uložených ploše nebo mírně nakloněných s mocností od 0,65 m s houževnatým středně pevným uhlím.

- **KSV A 80** – používá se ve slojích různými proplástkami a rozpojitelností s mocností sloje od 0,95 m (bez odřezávacího ramena) do 2,5 m (s odřezávacím ramenem). Výškové rameno je nastavováno hydraulicky.
- **KSV 180** – používá se pro sloje s mocností 0,9 m až 1,6 m. Motor je dvouválcový, obousměrný s automatickou regulací rychlosti s dálkovým ovládáním. [34]

5.5 Dobývací kombajn EICKHOFF SL 300

Tento dobývací kombajn byl poprvé uveden v roce 1994 pro střední a nízké sloje. Tato verze kombajnu začínala s celkovým instalovaným výkonem 688 kW, v současné době je vybavena výkonem kolem 1100 kW. Tato nejnovější technologie firmy EICKHOFF patří do menších elektrických součástí, které jsou určeny speciálně pro důlní účely. [37]

Celková výtěžnost EICKHOFF SL 300 je okolo 500 000 tun/měsíc ze všech uhelných oblastí celého světa. [37]



Obrázek 15. Kombajn Eickhoff SL300 [40]

5.6 Základní parametry EICKHOFF SL 300

Tabulka 5. Základní parametry dobývacího kombajnu EICKHOFF SL300 [38], [41]

Použití (nejmocnější vrstva)	m	06/01-03/04	1,6-4,0	1,6-4,0
Napětí	V, Hz	1000/1140,50	3300,5	4160,6
Řezání	kW	200,300,350,400	300,48	525
Pohon řezání	kW	2x35 V DC, AC 2x60	2x80 AC	2x80 AC
Celkový příkon	kW	538 – 900	769 – 1150	1240
Délka podpěrného ramena	mm	2308,2325	2325	2325
Rychlost bubnu	min -1	23,28,36,50,63	40,44,48,52,56	48,53,57,62,65
Max. tažná síla	kN	600	800	800
Max. rychlost	m/min	25	40	40
		MICOS 68/IPC	MICOS 68/IPC	IPC
Řízení		ruční/dálkové	ruční/dálkové	ruční/dálkové
		Přenos dat	Přenos dat	Přenos dat
Hmotnost	t	Automatizace 40 – 50	Automatizace 40 – 55	Automatizace 40 – 55

Firma Eickhoff je hlavní dodavatelem těžební technologie s celkovým podílem na trhu okolo 40 %. Tato firma patří k předním výrobcům kombajnů v podzemním těžebním průmyslu. Eickhoff vyrábí nejen důlní těžební stroje, ale také průmyslové převodovky, frézy, hydraulické pohony, kolejové vozy, slévárenské výrobky a systémy a je předním dodavatelem větrné energie.

Firma byla založena v roce 1864 Johannem Heinrichtem Carlem Eickhoffem, který začal s malou slévárnou. V roce 1914 staví první řezací stroj v Evropě, v roce 1950 ho převádí na hydrauliku. O čtyři roky později předvádí svůj první stěnový kombajn Eickhoff, okolo roku 1973 předvádí ve Spojených státech nejefektivnější rýpadla EDW-600L. V roce 1978 převádí ovládání kombajnů na dálkové. Rok 1994 je pro firmu klíčový, kdy na světové výstavě předvádí sérii kombajnů pod názvem Eickhoff SL, kde je blíže předveden typ EICKHOFF SL 300 a EICKHOFF SL500. V dalších letech firma představí typy SL 700 a SL 1000. [42]

5.7 Výhody dobývacího kombajnu SL 300

- Moderní koncepce převodovky,
- snaha o co nejmenší rozměry robustních strojů,
- ochrana motorů, převodovek pomocí bezpečnostních zařízení,
- automatizace pomocí paměťového řezu a přenosu dat,
- řízení a monitorování strojů pomocí moderních mikroprocesorů,
- výkonné motory,
- moderní navíjecí disky. [37]

5.8 Dobývací kombajn EICKHOFF SL 500

Tento dobývací kombajn je určen pro dobývání středních a vysokých slojí. Tato verze kombajnu disponovala zpočátku výkonem 1130 kW, v roce 2002 byl kombajn upraven a jeho celkový výkon dosahoval 1700 kW. Průměrná produkce kombajnu EICKHOFF SL500 je okolo 850 000 tun/měsíc. [39]



Obrázek 16. Kombajn Eickhoff SL500 [39]

Tabulka 6. Parametry kombajnu Eickoff SL500 [43]

pracovní rozsah	2,7-6	m
Výška	2	m
Příkon	1700	kW
Napětí	50	Hz
hmotnost	138	t

Všechny dobývací kombajny jsou vybaveny palubním počítačem s displejem, který personálu umožňuje snadnou údržbu a obsluhu stroje. V případě problému palubní počítač identifikuje problém a zobrazí jednotlivé kroky řešení závady. Tento palubní počítač společně s kontrolním systémem je ideální spojenec dobývání ložisek. [39]

6 Ekonomické zhodnocení nahrazení klasického způsobu těžby kapalinovým paprskem (hydrodobývání)

6.1 Jednoduchý fyzikálně-ekonomický model rozrušování uhlé hmoty kapalinovým paprskem

V této kapitole je odvozen jednoduchý model pro rozrušování uhlé hmoty kapalinovým paprskem. Zakládá se na fyzikálních vztazích uvedených v literárních pramenech (Mechlová, Jandacka IJF, Jandacka Ceramics-Silikaty, Summers kniha). Cílem této teoretické analýzy je odvození ekonomické náročnosti provozu kapalinového paprsku vyjádřené jednotkou Kč/t.

Uhlé hmoty je nehomogenní materiál, proto nelze očekávat, že by se kapalinový paprsek do této hmoty zařezával. Spíše lze předpokládat vymílání uhlé hmoty paprskem tak, jak to bylo testováno v rámci hydromonitoringu.

Fyzikální část vychází ze základních hydrodynamických vztahů pro výtok kapaliny z trysky. Měrná tlaková energie před tryskou $k_1 p$ (Pa) se za tryskou mění v kinetickou energii paprsku $0.5 \rho v^2$.

Rychlost proudící vody je:

$$v = \left(\frac{2 k_1 p}{\rho} \right)^{0.5} \quad (6.1)$$

kde:

k_1	konstanta třecích ztrát v trysce, u úzkých trysek má hodnotu 0.6 (-)
p	tlak kapaliny před tryskou (Pa)
ρ	hustota vody, 1000 kg/m ³

Výkonová rovnice pro vymílání uhlí ze sloje má tvar

$$k_2 k_1 p Q = \frac{\gamma A}{(k_3 t)} \quad (6.2)$$

kde:

k_2	energetická účinnost, 0 až 1 (-)
Q	objemový průtok kapaliny tryskou (m^3/s)
γ	povrchová energie uhlí (J/m^2)
A	povrchová plocha jedné granule uhlí, krychlová aproximace (m^2)
k_3	koeficient pro efektivní plochu (-)

Rovnici 6.2 lze upravit do tvaru

$$k_2 k_1 p Q = \frac{\gamma 6 a^2}{(k_3 t)} \quad (6.3)$$

kde a je velikost granule (velikost strany krychle s průměrným povrchem), a následně do tvaru

$$k_2 k_1 p Q a = \frac{\gamma 6 a^3}{(k_3 t)} \quad (6.4)$$

Výtěžnost V je pak

$$V = \frac{a^3}{(k_3 t)} = \frac{k_2 k_1 p Q a}{(6 \gamma)} = k p Q \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (6.5)$$

a nebo

$$V = q p Q \text{ [t/h]} \quad (6.6)$$

kde k a q jsou sdružené konstanty.

Bylo by velmi nespolehlivé teoreticky odhadovat konstanty k a q . Došlo by tak zřejmě k velkému zkreslení teoretických výsledků.

V této fázi bude lepší využít naměřených parametrů pro skutečné hydromonitory a odhadnout tak hodnotu koeficientu q (z praktického hlediska je to výhodnější, než odhad kontakty k). Na základě praktických výsledků při použití vodního paprsku pro rozrušování uhlí uvedených v literatuře (Summers) lze konstantu q odhadovat pomocí proložení naměřených parametrů teoretickou přímkou, jak je to provedeno v grafu č. 8 na základě dostupných dat, která prezentuje tabulka č. 7.

Z grafu č. 8 vyplývá, že konstanta q má pro těžbu uhlí hodnotu asi $q = 0,0022$ (je to hrubý odhad založený na dostupných kompletních datech ze tří hydromonitorů a jedné teoretické hodnoty), jestliže se veličiny vyjadřují v uvedených jednotkách. Obecně tedy může být vyjádřena a vypočítána výtěžnost hydromonitoru pomocí rovnice

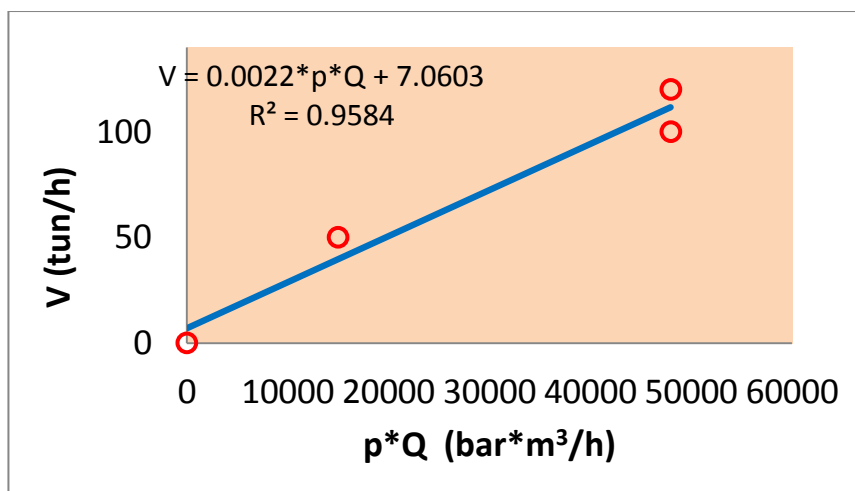
$$V = 0,0022 \times p \times Q \quad [t/h] \quad (3.7)$$

kde se p dosazuje v barech ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$) a Q v jednotkách m^3/h .

Rovnici (3.7) lze tedy použít pro výpočet V u libovolného hydromonitoru, ale je teoreticky možné, že při určité hodnotě $p \cdot Q$ již k vymílání horniny nebude docházet, což je pravděpodobný projev pevnosti (soudržnosti) uhelné hmoty.

Tabulka 7. Dostupné parametry Hydromonitorů při těžbě uhlí [18]

Typ stroje	(bar)	Q (m^3/h)	$P \cdot Q$	V (t/h)
Teorie, rovnice (3.6)	0	0	0	0
GMDTs-3Monitor	100	150	5000	50
GMDts- 3M úprava	120	400	8000	100
12Gp-2 monitor	120	400	8000	120



Graf 8. Odhad koeficientu q pro těžbu uhlí pomocí hydromonitorů přidáním spojnice trendu na experimentální data. Hodnota tohoto koeficientu je shodná se směrnici teoretické přímky, $q \approx 0,0022$ (pro uvedené jednotky).

Finanční náročnost související se spotřebou energie lze odhadovat použitím parametru spotřeby energie E (kWh/t), což je typická hodnota měrného příkonu uvedená pro několik hydromonitorů v literatuře (Summers). Tento parametr lze přepočítat na finanční náklady N pro vytěžení 1 tuny uhlí, tj. na novou veličinu N (Kč/t), pomocí vztahu

$$N = E \times C \quad [\text{Kč/t}] \quad (3.8)$$

kde C (Kč/kWh) je cena za kiloWatt hodinu elektřiny nebo jiné energie.

V následujících výpočtech zanedbáme cenu (spotřebu) vody, protože při těžbě uhlí by bylo výhodné používat vodu cyklicky. Při současné (nesmluvní) ceně elektřiny $C = 1,37$ Kč/kWh a parametrech E pro skutečné hydromonitory popsané v publikaci (Summers) jsou náklady na provoz hydromonitoru prezentovány v následující tabulce 9. Jedná se pouze o náklady na provoz stroje (bez ceny vody), tzn. do uvedených nákladů nejsou zahrnuty náklady na dopravu uhlí na povrch pomocí pásových dopravníků, cena lidské práce, osvětlení a další náklady na zabezpečení dolu.

6.2 Hydrodobývání šikmých slojí

Hydraulické dobývání je speciální metoda dobývání, která se týká těžby šikmých nebo nakloněných uhelných slojí. Šikmé uhelné sloje jsou švy, které vedou směrem dolů pod určitým úhlem.

Tato metoda byla často odmítaná z důvodu vysokých nákladů, které vznikly při dobývání uhlí. Výsledkem je, že stovky miliony zásob uhlí zůstávají nevydobyty z šikmých uhelných slojí. Některé šikmé uhelné sloje se v současné době těží povrchovým dobýváním nebo pomocí šneků. Tato současná metoda povrchovým dobýváním není výhodná z důvodu velkého bezpečnostního rizika a znečišťování životního prostředí – podzemních vod a povrchových toků.

Hlavním cílem hydrodobývání je těžba s minimalizací narušení povrchu země, a tím i životního prostředí. Dalším cílem je zamezení znečišťování povrchových vod, a tím zvýšení kvality vody. [16]

6.3 Elektrická energie

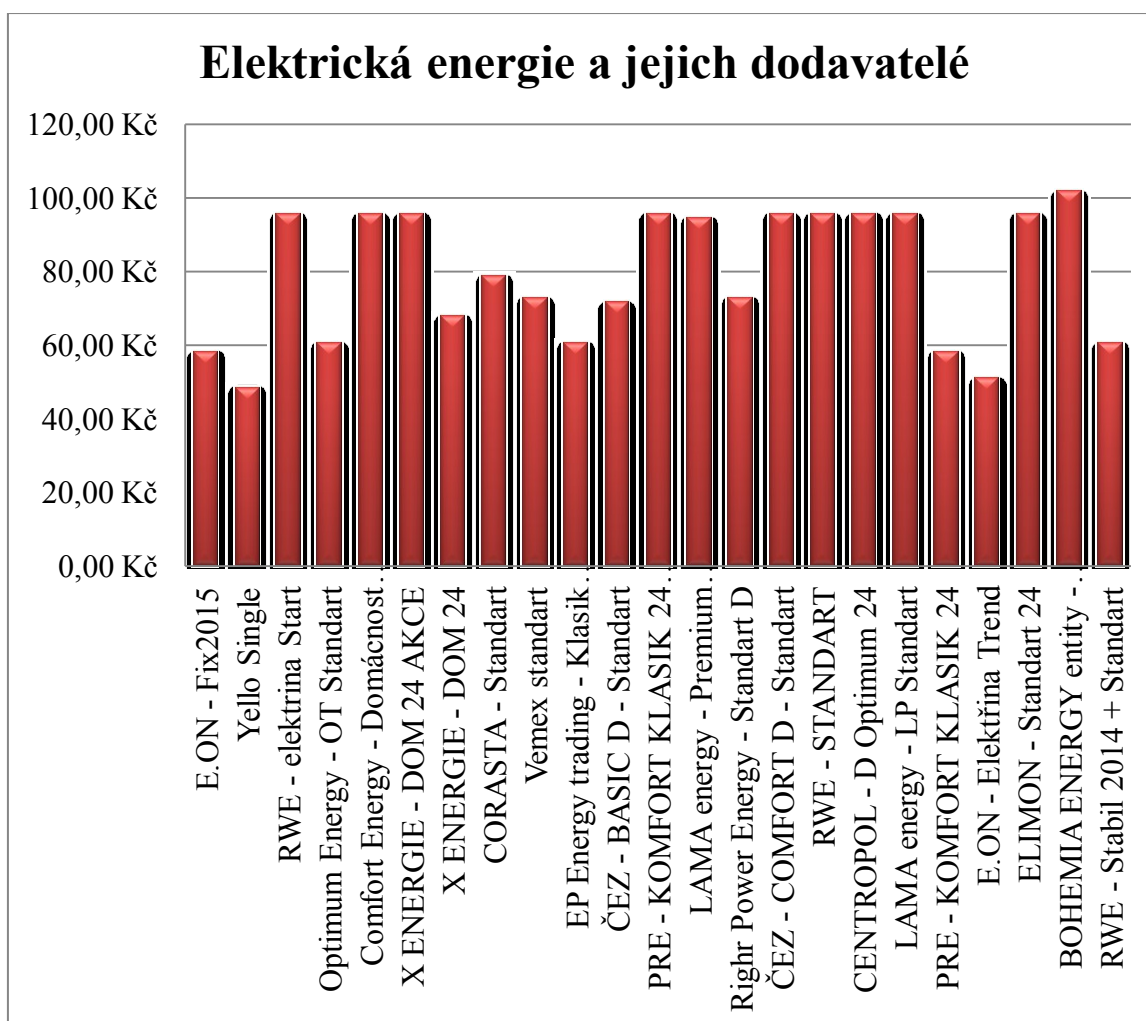
Elektrická energie vzniká přeměnou jiných druhů energie. K výrobě elektrické energie je zapotřebí různých zdrojů energie, které se dělí na neobnovitelné a obnovitelné. Mezi neobnovitelné zdroje patří fosilní paliva, např. uhlí, zemní plyn, ropa a uran. Obnovitelné zdroje jsou např. biomasa, sluneční záření, vítr a voda. [16]

6.4 Elektrická energie a jejich dodavatelé

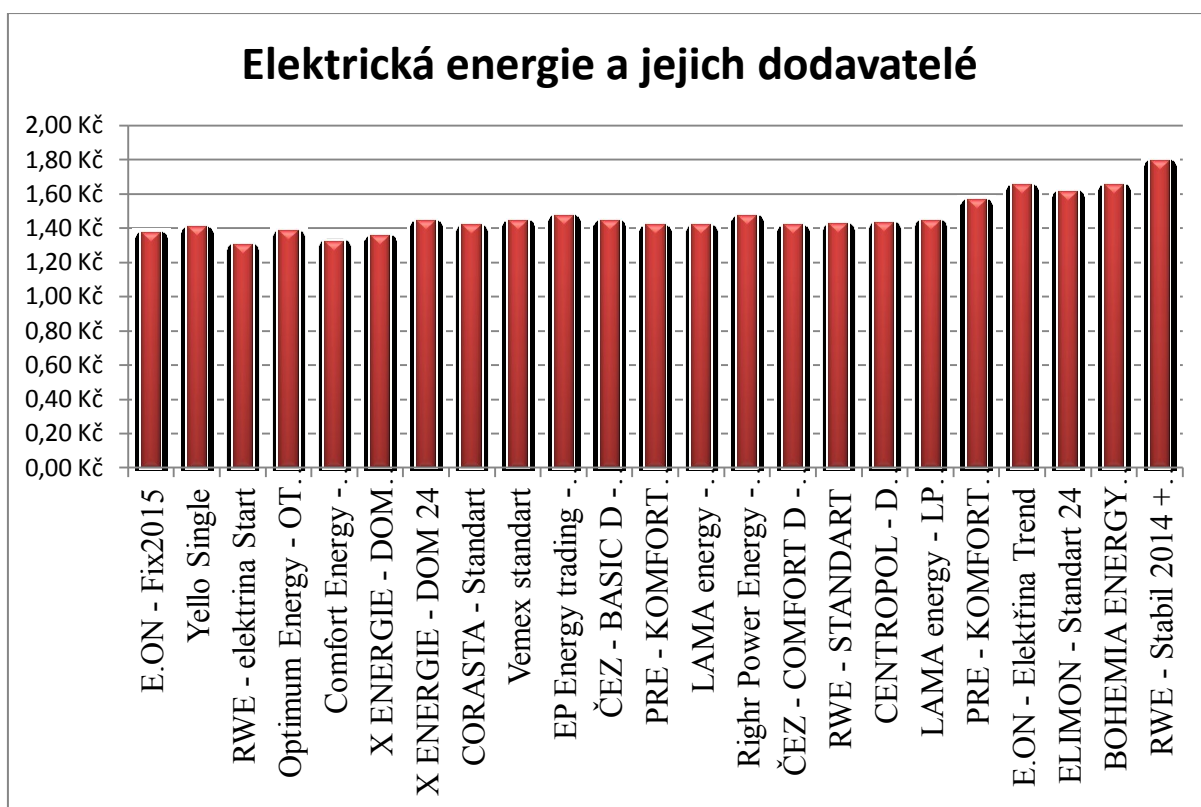
Tabulka 8. Dodavatelé elektrické energie [38]

	Cena za 1 kWh	Cena za odběr
	(vysoký tarif)	(měsíčně)
E.ON – Fix2015	1,37 Kč	58,08 Kč/měs.
Yello Single	1,40 Kč	48,40 Kč/měs.
RWE – elektřina Start	1,30 Kč	95,59 Kč/měs.
Optimum Energy – OT Standart	1,38 Kč	60,50 Kč/měs.
Comfort Energy – Domácnost Klasik	1,32 Kč	95,59 Kč/měs.
X ENERGIE – DOM 24 AKCE	1,35 Kč	95,59 Kč/měs.
X ENERGIE – DOM 24	1,44 Kč	67,76 Kč/měs.
CORASTA – Standart	1,41 Kč	78,65 Kč/měs.
Vemex standart	1,44 Kč	72,60 Kč/měs.
EP Energy trading – Klasik jednotarif	1,47 Kč	60,50 Kč/měs.
ČEZ – BASIC D – Standart	1,44 Kč	71,39 Kč/měs.
PRE – KOMFORT KLASIK 24 Fix 2	1,41 Kč	95,59 Kč/měs.
LAMA energy – Premium Standart	1,41 Kč	94,38 Kč/měs.
Righr Power Energy – Standart D	1,47 Kč	72,60 Kč/měs.
ČEZ – COMFORT D – Standart	1,41 Kč	95,59 Kč/měs.
RWE – STANDART	1,42 Kč	95,59 Kč/měs.
CENTROPOL – D Optimum 24	1,43 Kč	95,59 Kč/měs.
LAMA energy – LP Standart	1,44 Kč	95,59 Kč/měs.
PRE – KOMFORT KLASIK 24	1,56 Kč	58,08 Kč/měs.
E.ON – Elektřina Trend	1,65 Kč	50,82 Kč/měs.
ELIMON – Standart 24	1,61 Kč	95,59 Kč/měs.
BOHEMIA ENERGY entity – Home S24	1,65 Kč	101,64 Kč/měs.
RWE – Stabil 2014 + Standart	1,79 Kč	60,50 Kč/měs.

Společnost E.ON – Fix2015 jsem vybrala podle cenového tarifu uvedeného v tabulce 1,37 Kč/1kWh s ohledem na měsíční cenu za odběr. Srovnání cen můžete vidět v následujících grafech.



Graf 9. Dodavatelé a cena za měsíční odběr [38]



Graf 10. Cena elektrické energie a její dodavatelé [38]

E.ON Energie, a.s.

Tato akciová společnost působí v energetické skupině E.ON pro Českou republiku a je odpovědná za obchodování s energií. Společnost řídí a koordinuje obchodní aktivity a usiluje o převahu na českém energetickém trhu. Zákazníci E.ON mají řadu výhod a akční slevy. E.ON působí ve více jak 30 zemích světa a má přes 30 milionů zákazníků, je jedním z největších soukromých dodavatelů energií. Skupina má v současné době 20% podíl na českém trhu a má přes 1,2 milionů odběratelů elektřiny a plynu.

KOMBAJN EICKHOFF SL 300

$$N = \frac{C \cdot P}{V} \quad [\text{Kč/t}]$$

N... náklady [Kč/t]

$$N = \frac{1,37 \cdot 1138}{694}$$

P... příkon (výkon) 1138 kW

$$N = 2,25 \text{ Kč/tun}$$

C... cena elektřiny 1,37 Kč/kWh

$$500000 / (30 \cdot 24) = 694 \text{ tun/hod}$$

KOMBAJN EICKHOFF SL 500

$$N = \frac{C \cdot P}{v} \quad [\text{Kč/t}]$$

$$850000 / (30 \cdot 24) = 1180 \text{ tun/hod}$$

$$N = \frac{1,37 \cdot 1700}{1180}$$

$$N = 1,97 \text{ Kč/tun}$$

KAPALINOVÝ PAPRSEK

$$N = E \cdot C$$

N... náklady

C... cena elektřiny 1,37 Kč/kWh [6]

tryska od 32 mm » 1,24 kWh/t

tryska od 50 mm » 0,74 kWh/t

Čína monitor... 7-10 kWh/t

Experiment 1, » napájení 10,55 kWh a celý systém 16,1 kWh/t

Experiment 2, » 15,6 kWh/t

(Po dosazení 1,24 kWh/t ») $N = 1,24 \cdot 1,37 = \underline{1,70 \text{ Kč/t}}$

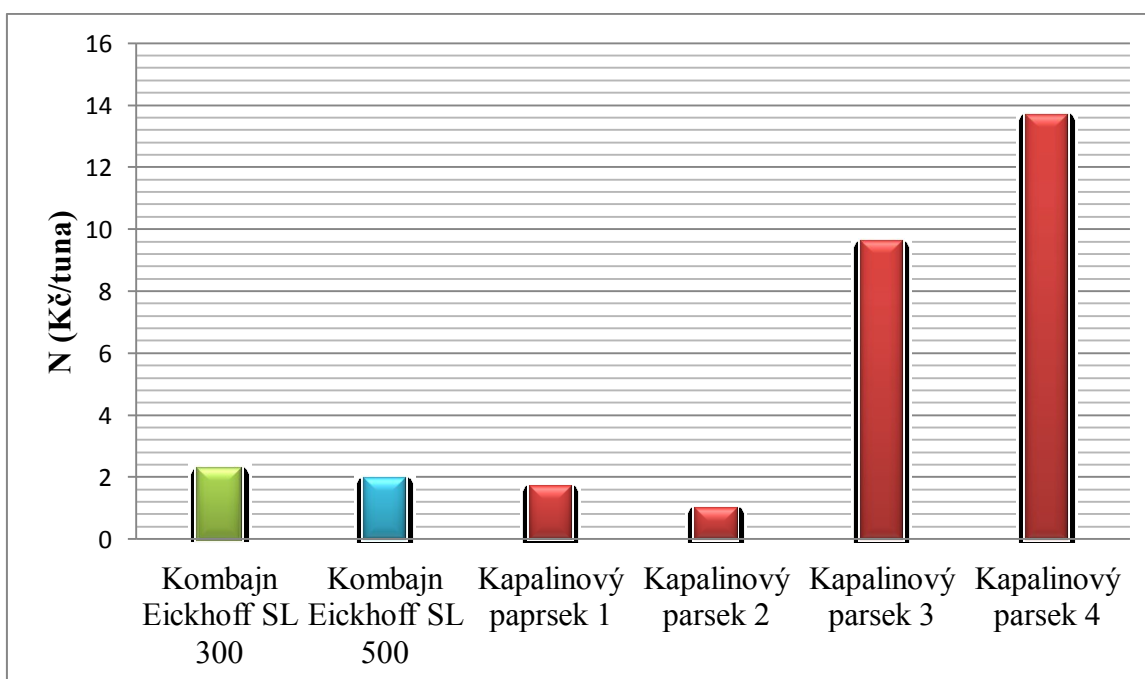
(Po dosazení 0,74 kWh/t ») $N = 0,74 \cdot 1,37 = \underline{1,01 \text{ Kč/t}}$

(Po dosazení 7 – 10 kWh/t dosadím tedy min. 7 kWh/t ») $N = 7 \cdot 1,37 = \underline{9,60 \text{ Kč/t}}$

(Po dosazení 7 – 10 kWh/t dosadím tedy max. 10 kWh/t ») $N = 10 \cdot 1,37 = \underline{13,7 \text{ Kč/t}}$

Tabulka 9. Spotřeba energie jednotlivých výtěžných zařízení

Název výtěžného zařízení	Kč/tuna
Kombajn Eickhoff SL 300	2,25
Kombajn Eickhoff SL 500	1,97
Kapalinový paprsek 1	1,70
Kapalinový paprsek 2	1,01
Kapalinový paprsek 3	9,60
Kapalinový paprsek 4	13,7



Graf 11. Spotřeba elektrické energie Kč/tuna

Kapalinový paprsek 1 po dosažení 1,24 kWh/t je cena 1,70 Kč/t

Kapalinový paprsek 2 po dosažení 0,74 kWh/t je cena 1,01 Kč/t

Kapalinový paprsek 3 po dosažení 7 kWh/t je cena 9,60 Kč/t

Kapalinový paprsek 4 po dosažení 10 kWh/t je cena 13,7 Kč/t

Závěr

Cílem této práce bylo srovnání ekonomické náročnosti provozu klasického dobývacího kombajnu s hydromonitorem při těžbě uhlí.

Na začátku práce jsme neměli žádnou hypotézu, ale vzhledem k tomu, že se kapalinový paprsek v dolech obecně nepoužívá, odhadovali jsme, že se zřejmě při takové aplikaci jedná o ekonomicky neefektivní proces. Výsledek naší analýzy založený na studiu experimentů s hydromonitory popsanych v odborné literatuře a na použití parametrů klasických dobývacích strojů uváděných výrobcí, jsou překvapující.

Ekonomická efektivita provozu obou zařízení je přibližně srovnatelná a pohybuje se u nejlepších strojů okolo 1 – 2 Kč za tunu vytěženého uhlí. Je potřeba zdůraznit, že se jedná o údaj zahrnující jen náklady na provoz stroje bez ohledu na další náklady, jako jsou náklady na elektrickou energii spotřebovanou pásovými dopravníky, náklady na cenu nebo recyklaci vody, náklady na odvodňování dobývacího prostoru aj. Prezentovaný údaj nelze srovnávat s náklady na těžbu uhlí uváděnými v médiích, kde jsou započteny skutečně všechny náklady provozu konkrétního dolu na vytěžení jedné tuny uhlí.

Je možné, že by taková analýza dalších nákladů na provoz obou srovnávaných zařízení ukázala, že je použití hydromonitoru skutečně nevýhodné. Je například obecně známo, že se vlhké uhlí lepí na pásové dopravníky, a proto se v dolech často v rozporu s bezpečnostními předpisy vypínají vodní trysky (rozprašovače vody), které zabezpečují snížení prašnosti. Provoz hydromonitoru by byl v tomto smyslu nevýhodou. Naopak výhodným by se mohl stát v případě, pokud by se měla založit nová těžba na šikmých slojích (třeba vystupujících až k povrchu), kdy by se spustil hydromonitor (tryska hydromonitoru) úzkou jámou ke sloji, kde by odebral horninu. Ta by pak byla vyplavována proudem vody na povrch. Náklady na takovou těžbu by mohly být v porovnání s klasickým způsobem těžby, který se nehodí na příliš šikmé sloje, výrazně menší.

Prezentovaná diplomová práce a její výsledky přináší závěry s omezenou platností. Až komplexní ekonomická analýza všech energetických parametrů by mohla přinést lepší odhad, zda by bylo prakticky výhodnější používat hydromonitor namísto klasického dobývacího kombajnu. Taková analýza může být námětem pro navazující práci. Úplné rozhodnutí může poskytnout jen delší zkušební provoz hydromonitoru.

Použitá literatura

Publikace:

- [1] Kolenová, I. *Ekonomické zhodnocení účinnosti kapalinového paprsku*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011. 31 s.
- [2] Summer D. A. *Waterjetting Technology*. vyd. London: Chapman and Hall, 1. vyd. 1995. 616 s.
- [3] Hlavac, L. M., I. M. Hlavacova, P. Jandačka, J. Zegzulka, J. Viliamsová, J. Vašek & V. Madr. *International Journal of Mineral Processing*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. 95 s.
- [4] Hlavac, L. M., I. M. Hlavacova, J. Vasek, P. Jandacka & V. Madr. *Journal of Scientific Conference Proceedings, Vol 2, No 1*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010.
- [5] Hlavac, L. M., I. M. Hlavacova, J. Vasek, P. Jandacka, J. Zegzulka, J. Viliamsova, V. Madr & R. Uhlár. *Investigation of samples from the high-velocity water jet driven micro/nano particle collider*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010.
- [6] Jandacka, P., L. M. Hlavac, V. Madr, J. Sancer & F. Stanek. *International Journal of Fractur*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. 159 s.
- [7] Jandacka, P., J. Sancer, H. Vojtkova, P. Besta, R. Brazda, P. Kolicova & L. Simkova. *Ceramics-Silikaty*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011. 55 s.
- [8] Jandacka, P., S. Studentova, L. M. Hlavac, M. Kvicala, V. Madr & S. Hredzak. *Chemické Listy*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011. 105 s.
- [9] Mechlová, E. a kol. *Vákladový slovník fyziky*. vyd. Praha: Prometheus, 1999.
- [10] Jandačka, P., Hlaváč, L., Uhlář, R., Mádr, V., Burkovič, J. *Regression Model for Depth of Cut of Water Jet into Rock Materials*. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 117 s.
- [11] Vavro, M a kol. *Technologie hlubinného dobývání uhelných ložisek*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1993. 291 s.

-
- [12] Odstrčil, K a kol. *Hlubinné dobývání ložisek III. díl*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968. 503 s.
- [13] Trnka, O a kol. *Dobývání ložisek*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968. 336 s.
- [14] Hlisnikovský, J. *Dobývací stroje a zařízení v hlubinných a povrchových dolech*. 1. vyd. Praha: UTEIN, 1957. 197 s
- [15] Tichý, R. *Dobývací stroje hlubinné*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1954. 152 s.
- [16] Huffman, L. H., Knoke, G. L. *United States Patent*. vyd. USA: Department of Energy , 1984.

Internetové www zdroje

[17] Vysoké učení technické v Brně [online]. Dostupný z WWW:

<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5663>

[18] Vysoké učení technické v Brně [online]. Dostupný z WWW:

<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/17102/2011_PRAX_DP_76107.pdf?sequence=1>

[19] VŠB-TU Ostrava [online]. Dostupný z WWW:

<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyuziti_uhli.html>

[20] Wikipedie (otevřená encyklopedie) [online]. Dostupný z WWW:

<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%AD>>

[21] OKD a.s. [online]. Dostupný z WWW:

<<http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/historie-tezby-uhli>>

[22] OKD a.s. [online]. Dostupný z WWW:

<<http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/jak-uhli-vzniklo>>

[23] Wikipedie (otevřená encyklopedie) [online]. Dostupný z WWW:

<<http://en.wikipedia.org/wiki/Coal>>

[24] World coal association [online]. Dostupný z WWW:

<<http://www.worldcoal.org/coal>>

[25] OKD a.s. [online]. Dostupný z WWW:

<<http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/slozeni-uhli>>

[26] Těžba a využití černého uhlí [online]. Dostupný z WWW:

<<http://tezba-a-vyuziti-cerneho-uhli.webnode.cz/uhli/rozdeleni>>

[27] OKD a.s. [online]. Dostupný z WWW:

<<http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/typy-uhli>>

[28] Wikipedie (otevřená encyklopedie) [online]. Dostupný z WWW:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Coal_by_country>

-
- [29] Česká geologická služba – geofond [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy99/html/c_uhli.html>
- [30] Nechci drahé teplo [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.nehci-drahe-teplo.cz/tezba-uhli-v-cr>>
- [31] BP Global [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/coal/coal-reserves.html>>
- [32] World coal association [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics>>
- [33] EnergiePlus [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.miseplus.cz/info/vznik>>
- [34] Hornictví [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.hornictvi.info/prirucka/technika/kombajny.htm>>
- [35] T Machinery a. s. [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.tmachinery.cz/cs/vyrobni-program/kombajny>>
- [36] Techstroj [online]. Dostupný z WWW:
<http://techstroj.g6.cz/U/Dobyvaci_stroje_pro_hlubinne_dobyvani.pdf>
- [37] Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.eickhoff-bochum.de/en/produkte/bt_walzenlader_sl300.php>
- [38] Direct industry [online]. Dostupný z WWW:
<<http://pdf.directindustry.com/pdf/eickhoff-corporation/eickhoff-sl-300/58721-248925.html>>
- [39] Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.eickhoff-bochum.de/en/produkte/bt_walzenlader_sl500.php>
- [40] Abrezd [online]. Dostupný z WWW:
<<http://abrezd.livejournal.com/13167.html>>

-
- [41] Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.siming.eu/uploads/3dmin_struktura/Kombajn_SL_300_HR_BIH_SRB_220111611.pdf>
- [42] Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.eickhoff-bochum.de/en/unternehmen/index.php>>
- [43] Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.eickhoffcorp.com/sl_shear.html>
- [44] VŠB-TU Ostrava [online]. Dostupný z WWW:
<<http://projekt150.ha-vel.cz/node/59>>
- [45] AdFinance s.r.o. [online]. Dostupný z WWW:
<<http://www.usetreno.cz/energie-elektrina/cena-elektriny>>

Seznam obrázků

Obrázek 1. Popis funkce kapalinového paprsku

Obrázek 2. Kapalinový paprsek

Obrázek 3. Řezání KP bez abraziva

Obrázek 4. Řezání KP s abrazivem

Obrázek 5. Hydromonitor DH-30

Obrázek 6. Odvodňovací stanice

Obrázek 7. Schéma komplexní hydromechanizace

Obrázek 8. Umístění kapalinového paprsku do vrtu

Obrázek 9. Doprava uhlí na povrch

Obrázek 10. Uhlí

Obrázek 11. Oblasti těžby černého uhlí

Obrázek 12. Oblasti těžby hnědého uhlí

Obrázek 13. Oblasti těžby lignitu

Obrázek 14. Kombajn

Obrázek 15. Kombajn Eickhoff SL300

Obrázek 16. Kombajn Eickhoff SL 500

Seznam grafů

Graf 1. Rozdělení KP podle použití

Graf 2. Druhy KP

Graf 3. Schéma přeměny energie

Graf 4. Složení obsahu uhlí

Graf 5. Popis vzniku uhlí

Graf 6. Světoví producenti uhlí

Graf 7. Rozdělení dobývacích kombajnů

Graf 8. Odhad koeficientu q pro těžbu uhlí pomocí hydromonitorů přidáním spojnice trendu na experimentální data. Hodnota tohoto koeficientu je shodná se směrnicí teoretické přímky, $q \approx 0,0022$ (pro uvedené jednotky).

Graf 9. Dodavatelé a cena za měsíční odběr

Graf 10. Cena elektrické energie a její dodavatelé

Graf 11. Spotřeba elektrické energie Kč/tuna

Seznam tabulek

Tabulka 1. Parametry řezného stroje

Tabulka 2. Typy uhlí

Tabulka 3. Ložiska uhlí

Tabulka 4. Parametry dobývacích kombajnů

Tabulka 5. Základní parametry dobývacího kombajnu Eickhoff SL300

Tabulka 6. Základní parametry dobývacího kombajnu Eickhoff SL 500

Tabulka 7. Dostupné parametry hydromonitorů při těžbě uhlí

Tabulka 8. Dodavatelé elektrické energie

Tabulka 9. Spotřeba energie jednotlivých výtěžných zařízení